

A

CTUALITÉS

P. 6 Échos des labos

P. 16 Livres du mois

P. 18 Agenda

P. 20 *Homo sapiens informaticus*

P. 22 Questions de confiance

PALÉONTOLOGIE

UN TÉMOIGNAGE GÉOLOGIQUE DES DERNIERS INSTANTS DES DINOSAURES



Sur le site de Tanis, en Amérique du Nord, une couche de 1,3 mètre d'épaisseur et âgée de 66 millions d'années renferme les restes de nombreux poissons et de plantes enchevêtrés, associés à des traces géologiques de l'impact d'une météorite.

On a découvert le témoignage fossile d'une hécatombe qui s'est produite quelques minutes après l'impact de la météorite ayant mis fin au règne des dinosaures.

La disparition des dinosaures à la fin du Crétacé est attribuée à la chute d'un astéroïde au Mexique. Mais que s'est-il passé exactement ce jour-là ? Pour l'essentiel, nous l'ignorons. Cependant, Robert DePalma, de l'université du Kansas, a étudié une extraordinaire capsule temporelle contenant le témoignage précis d'une mort en masse apparemment liée à l'impact, qui apporte quelques précisions sur les suites immédiates de la catastrophe.

La fin du Crétacé s'est produite il y a quelque 66 millions d'années, quand un

astéroïde d'environ 10 kilomètres de diamètre frappa la Terre près de l'emplacement du village actuel de Chicxulub. L'énergie libérée par le choc était équivalente à celle de quelque 100 milliards de bombes de Hiroshima, ce qui aurait eu de grandes conséquences écologiques, notamment l'extinction des dinosaures.

Nommé Tanis, le gisement paléontologique étudié par Robert DePalma se trouve dans le Dakota du Nord, à 3000 kilomètres du point d'impact. Il s'agit d'une couche de 1,3 mètre d'épaisseur mêlant des sédiments à un amas de fossiles de plantes et d'animaux très bien conservés. Les bouches

ouvertes des poissons d'eau douce fossilisés (des poissons-spatule et des esturgeons) et les signes de tétanie due à l'asphyxie des animaux prouvent que c'est bien le contenu d'un fleuve qui a brusquement été rejeté en vrac sur la rive végétalisée d'un méandre du paléofleuve Tanis. Coulant vers l'est, ce dernier se jetait dans la mer intérieure nord-américaine présente à l'époque. Le dépôt fait donc penser au genre de chaos sédimentaire laissé par les tsunamis. Pour autant, son profil granulométrique oblige à le subdiviser en deux strates superposées. Il y a donc eu deux déferlements successifs.

L'âge du dépôt suggère fortement une fossilisation rapide liée à l'impact de Chicxulub : depuis le début de l'étude de Tanis, pas moins de 40 datations à l'argon (fondées sur le rapport $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$) se sont

accumulées, attribuant aux sédiments un âge moyen de $65,76 \pm 0,15$ millions d'années, ce qui correspond bien à l'extrême fin du Crétacé. En outre – et comme il se doit si Tanis date vraiment de la toute fin du Crétacé – ses strates sont immédiatement recouvertes par la même fine couche d'argile riche en iridium (élément très présent dans les météorites) qui, retrouvée partout sur la planète, est identifiée comme la signature chimique de la météorite.

Logiquement, Robert DePalma a donc d'abord pensé avoir affaire au dépôt formé par le déferlement dans la vallée de l'énorme tsunami dû à la météorite. Le calcul montre toutefois que ce n'est pas possible: le tsunami aurait mis plus de 18 heures pour arriver à Tanis, alors que deux observations prouvent que l'inondation violente de Tanis s'est produite dans l'heure qui a suivi l'impact. La première est que les ouïes des poissons et la boue de Tanis sont saturées de petites billes de quartz choqué, des éjectas typiques d'un impact météoritique et qui, d'après les calculs, ont plu sur Tanis entre 13 minutes et 2 heures après le choc. Deuxième observation: des impacts de tectites, des projectiles de verre aux formes arrondies produits par l'éjection puis la solidification en vol des roches fondues par l'impact, constellent les strates de Tanis.

Dès lors, d'où viennent les deux vagues qui ont déferlé à Tanis? Selon les chercheurs, le plus vraisemblable est qu'elles ont été induites par les oscillations d'un bassin attenant au fleuve Tanis (son embouchure?), provoquées par les très puissantes ondes sismiques associées à l'impact. Or le calcul montre que ces ondes ont atteint Tanis en quelques minutes.

Ainsi, Tanis témoigne bien de ce qui s'est produit dans l'heure qui a suivi l'impact de Chicxulub. Or Robert DePalma y a découvert un os iliaque de dinosaure herbivore, et il a aussi confié à Douglas Preston, du magazine *The New Yorker*, avoir trouvé une plume de dinosaure présumée et «des dents, des os cassés et des restes d'éclosion de presque tous les groupes de dinosaures connus dans la région, ainsi que des restes de ptérosaure». Ces découvertes, non encore publiées, laissent penser que les dinosaures étaient toujours là le jour où la météorite de Chicxulub est tombée. ■

FRANÇOIS SAVATIER

R. DePalma et al., *PNAS*, en ligne le 1^{er} avril 2019

Biodiversité mondiale : un rapport accablant

L'IPBES, la plateforme intergouvernementale sur la biodiversité et les services écosystémiques, créée sous l'égide de l'ONU en 2012, vient de tenir sa 7^e conférence plénière à Paris. Elle a rendu public son rapport sur la biodiversité mondiale le 6 mai. Les explications de l'écologue Sandra Lavorel, contributrice à l'IPBES à titre d'experte.



Propos recueillis par MAURICE MASHAAL

SANDRA LAVOREL
directrice de recherche
au Laboratoire
d'écologie alpine,
à Grenoble

Quels étaient les objectifs de ce rapport ? Comment a-t-il été établi ?

Il s'agissait d'établir une synthèse à l'échelle mondiale de l'état actuel de la biodiversité, des écosystèmes et des services que ceux-ci rendent, en indiquant les tendances passées et attendues ; de passer en revue les divers instruments, réglementaires et autres, qui sont susceptibles d'améliorer la situation ; et de proposer aux décideurs (politiques, industriels, etc.) des pistes d'action. Cette synthèse est le fruit de plusieurs grandes évaluations, notamment régionales comme celle à laquelle j'ai participé et qui portait sur l'Europe et l'Asie centrale. Elle a mobilisé plus de 450 experts de disciplines diverses pendant environ trois ans. C'est le premier rapport global sur la biodiversité depuis l'« Évaluation des écosystèmes pour le millénaire » de 2005, et le premier qui soit intergouvernemental, soumis à l'approbation des représentants des 132 pays membres de l'IPBES.

En termes de constat, quels sont les points saillants ?

Les tendances au déclin de la biodiversité et à la dégradation des écosystèmes, à un rythme sans précédent, sont malheureusement confirmées. Le rapport contient à cet égard beaucoup de chiffres éloquentes. Par exemple, en Europe et Asie centrale, 28 % des espèces évaluées sont menacées d'extinction, ce chiffre montant à 37 % pour les poissons d'eau douce, à 33 % pour les plantes vasculaires. Autre exemple, on estime que 75 % des milieux terrestres, 40 % de l'environnement marin et la moitié des cours d'eau ont été gravement altérés. Les causes de ces évolutions négatives sont d'abord l'utilisation des terres – pour l'agriculture, l'exploitation forestière ou

l'urbanisation – et le prélèvement direct des ressources comme la pêche et la chasse ; il y a ensuite le changement climatique, les pollutions et les espèces invasives. Un autre pan important du rapport est l'évaluation des services écosystémiques, qui tente de quantifier l'impact de la dégradation des écosystèmes sur la production alimentaire, celle du bois, la pollinisation, l'érosion des terres, la qualité des eaux, les valeurs culturelles...

Que préconise le « résumé pour décideurs » du rapport ?

Ce résumé souligne notamment le fait que l'arsenal législatif et réglementaire existant permettrait déjà d'améliorer la situation, à condition qu'il soit correctement appliqué. L'une des recommandations est de modifier les modes de consommation de l'énergie et de l'alimentation, de veiller à ne pas exporter à distance des problèmes, par exemple quand la consommation de bois dans un pays conduit à de la déforestation dans un autre. Une autre piste est de rapprocher les gens de la nature, y compris dans les villes où, par exemple, les surfaces végétalisées permettent de réguler la température ou d'améliorer l'écoulement des eaux de pluie.

Le combat risque d'être encore plus long et difficile que pour le climat, non ?

En fait, les problèmes de la biodiversité et du climat relèvent souvent d'un même combat de fond, modifier les modèles économiques et les modes de consommation. C'est dans ces synergies entre solutions pour le climat et pour la biodiversité que l'on peut espérer des actions à fort impact. Comme pour le climat, il existe de très nombreuses initiatives locales, et beaucoup de grandes entreprises ont pris conscience de l'importance de la biodiversité et de ses services. Mais tout cela doit être complété et renforcé par des initiatives venant des gouvernements. ■

Rapport disponible sur le site de l'IPBES : www.ipbes.net

ÉVOLUTION

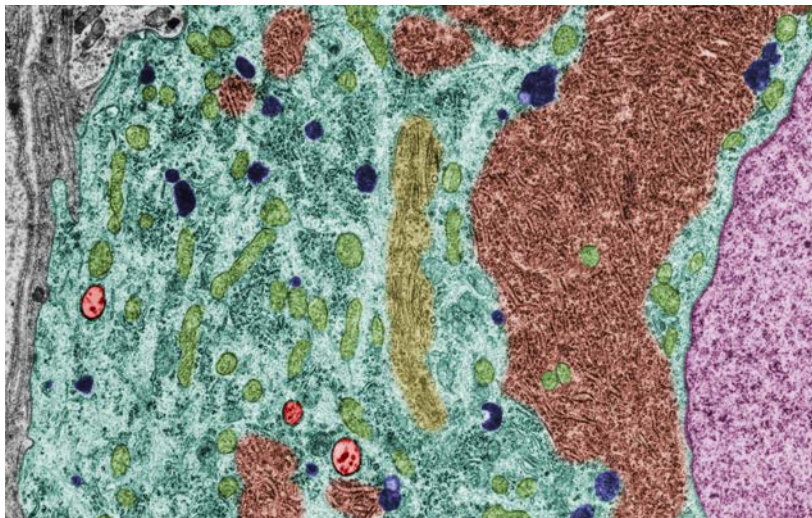
QUAND LA MITOCHONDRIE VIVAIT AUX PORTES D'ASGÅRD

Les mitochondries, les usines à énergie des eucaryotes, seraient des descendantes de bactéries qui se nourrissaient des déchets d'ancêtres des archées d'Asgård.

Quel est le point commun entre animaux, plantes, champignons et protozoaires, des organismes unicellulaires comme les paramécies? Ils forment le groupe des eucaryotes, un des trois grands domaines de l'arbre du vivant aux côtés des bactéries et des archées. Si l'on connaît nombre de ramifications de cette branche, les conditions de sa naissance restent mystérieuses. Les cellules eucaryotes ont plusieurs caractéristiques propres, notamment un noyau et des mitochondries, petits organites qui fournissent de l'énergie à la cellule. Or l'origine de ces deux compartiments reste énigmatique. Toutefois, à partir d'études génomiques, Anja Pang, de l'université d'Uppsala, en Suède, et ses collègues viennent de suggérer un nouveau scénario concernant la mitochondrie, à contre-courant de celui communément proposé.

Aujourd'hui, les biologistes s'accordent à dire que la cellule eucaryote serait le fruit d'une symbiose entre une archée et une bactérie, ce que l'étude ne remet pas en cause. Mais à l'origine de cette symbiose, elle suggère un mécanisme à l'opposé de celui imaginé auparavant. L'équipe s'est intéressée à une branche des archées mise au jour en 2015 dans des sédiments profonds de sources hydrothermales au large de la Norvège: les archées d'Asgård. Ces microorganismes seraient en effet les plus proches parents des eucaryotes: s'ils n'ont ni noyau ni mitochondrie, ils contiendraient des compartiments et des protéines que l'on pensait spécifiques des eucaryotes, tel un cytosquelette. C'est du moins ce qu'ont révélé les études métagénomiques de divers échantillons, car personne n'a encore réussi à isoler un membre de cette famille.

Anja Pang et ses collègues se sont donc aussi penchés sur le génome de ces archées, et plus spécifiquement sur les gènes codant des enzymes impliquées dans le métabolisme – l'ensemble des réactions chimiques par lesquelles l'organisme produit les composants et l'énergie dont il a besoin pour vivre. Leur idée était de comparer ces gènes chez les différents types d'archées afin de reconstituer leur histoire évolutive. Ils se sont ainsi aperçus que, d'une famille à l'autre, les archées d'Asgård utilisent des mécanismes différents, mais avec un point commun: ils auraient



Parmi les divers compartiments qui leur sont propres, les cellules eucaryotes présentent un noyau (ici en rose dans un neurone observé par microscopie électronique) et des mitochondries (en vert).

tous pour substrat de la matière organique et rejetteraient à des degrés variés de l'hydrogène, des électrons et divers autres composés réduits. En d'autres termes, les archées d'Asgård seraient avant tout hétérotrophes: elles auraient besoin d'un apport extérieur de matière organique pour produire leur énergie et leurs composants.

De leur côté, les mitochondries ressemblent à une famille de bactéries, les alphaprotéobactéries, dont plusieurs membres produisent des enzymes spécialisées dans le métabolisme de l'hydrogène. D'où le nouveau modèle proposé: des archées ancestrales vivaient en consommant certaines molécules organiques environnantes comme des acides gras, des alcanes ou des composés aromatiques. Ce faisant, elles rejetaient de l'hydrogène et d'autres produits, que des alphaprotéobactéries ancestrales utilisaient à leur tour. Une symbiose se serait ainsi établie et, par coévolution, serait devenue une endosymbiose, sans doute scellée *a posteriori* par des gènes venus d'autres bactéries. Or, dans le modèle en vogue jusqu'à présent, qui ne prenait pas en compte ces considérations métaboliques, la bactérie était la pourvoyeuse d'hydrogène de l'archée... Reste à comprendre d'où vient le noyau. ■

MARIE-NEIGE CORDONNIER

A. Spang *et al.*, *Nat. Microbiol.*, en ligne le 1^{er} avril 2019

EXPLOSION DE BÉTON EN TEMPS RÉEL

Plusieurs incendies nous ont appris que les structures en béton des tunnels explosent à température trop élevée. Une équipe de l'université de Grenoble et de l'institut Laue-Langevin a observé le phénomène en temps réel par tomographie neutronique et confirmé ce que l'on pensait : c'est parce que l'eau contenue dans les minuscules pores du béton devient de la vapeur à très haute température que naissent des pressions excessives pour le béton.

LA DUALITÉ... ONDE-ANTIPARTICULE

On l'avait déjà fait avec des électrons : voilà qu'une expérience effectuée à l'Institut polytechnique de Milan vient de montrer que leurs antiparticules, les positrons, ont aussi une nature ondulatoire (ce que l'on savait déjà indirectement). Les chercheurs ont envoyé un faisceau de positrons à travers deux fentes voisines parallèles. Cela a produit sur l'écran une figure d'interférence, au lieu des images des fentes qui seraient apparues si les positrons se comportaient comme de simples corpuscules. L'antimatière n'échappe pas à la dualité onde-corpuscule !

L'ORIGINE DES LANGUES SINO-TIBÉTAINES

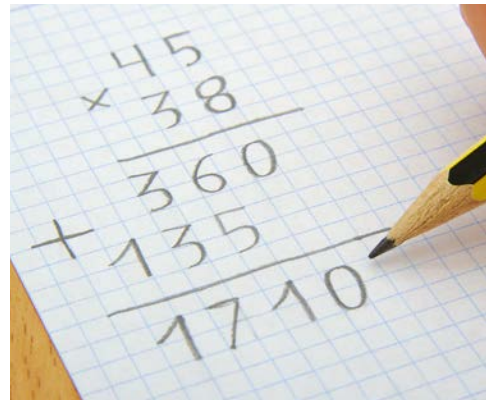
Au moins 1,4 milliard d'humains parlent une langue sino-tibétaine, mais l'origine de ce groupe linguistique reste incertaine. Avec des collègues, Laurent Sagart, du Centre des recherches linguistiques sur l'Asie orientale, à Paris, a identifié dans les quelque 500 langues sino-tibétaines des ensembles de mots apparentés, puis s'en est servi pour construire l'arbre de parenté du groupe. Et en conclut qu'il remonterait aux langues de paysans qui, il y a quelque 7 200 ans, cultivaient le mil dans le nord de la Chine.

MULTIPLIER PLUS VITE

Les écoliers apprennent à multiplier les nombres entiers selon une méthode qui a prouvé son efficacité depuis son développement dans l'Antiquité. Elle consiste à prendre chaque chiffre du premier nombre et à le multiplier avec chacun du second nombre, puis à additionner ces résultats intermédiaires. Si chaque nombre contient n chiffres, le nombre total de multiplications à effectuer augmente comme le carré du nombre de chiffres, n^2 . Ainsi, pour multiplier deux nombres de un milliard de chiffres chacun, il faut réaliser un milliard de milliards d'opérations, soit quelque 30 ans de calculs sur un ordinateur réalisant un milliard d'opérations par seconde ! Peut-on faire mieux ?

À partir des années 1960, des mathématiciens ont montré qu'en isolant des blocs de chiffres dans les nombres à multiplier et en réalisant des opérations d'addition et de soustraction sur ces blocs, il était possible de s'économiser certaines multiplications. Or les additions et les soustractions sont des opérations plus simples, et donc plus rapides à effectuer, pour un ordinateur. Puis, dès les années 1970, l'utilisation de la transformation de Fourier rapide a encore amélioré les algorithmes pour les grands nombres.

En 1971, Arnold Schönhage et Volker Strassen, de l'université de Constance, en



La méthode classique de multiplication n'est pas la plus efficace lorsque les nombres sont très grands.

Allemagne, ont alors conjecturé qu'il devait être possible de trouver une méthode dont le nombre d'opérations évoluerait en $n \log(n)$. Joris van der Hoeven, de l'École polytechnique, à Palaiseau, et David Harvey, de l'université de Nouvelle-Galles du Sud, viennent de trouver un tel algorithme. Pour ce faire, ils s'appuient sur une version multidimensionnelle de la transformation de Fourier rapide.

Si ce résultat a une grande importance théorique, l'algorithme reste à optimiser car il ne devient performant, pour l'instant, que pour des nombres comprenant plus de chiffres qu'il n'y a d'atomes dans l'Univers observable ! ■

SEAN BAILLY

D. Harvey et J. van der Hoeven, en ligne sur HAL, 12 avril 2019, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02070778>

HeH⁺, ENFIN VUE DANS L'ESPACE

L'hydrure d'hélium (HeH⁺) serait la première molécule formée dans l'Univers primordial. On l'avait observée pour la première fois en laboratoire en 1925, mais jamais dans l'espace. Pourtant, dans les années 1970, des chercheurs avaient suggéré que les conditions régnant dans les nébuleuses planétaires étaient favorables à sa formation. Sa détection était cependant difficile, car sa signature spectrale dans le rayonnement des nébuleuses se confond avec celle du radical CH.

Pour leur étude, Rolf Güsten, de l'institut Max-Planck de radioastronomie, à Bonn, en Allemagne, et ses collègues ont utilisé l'Observatoire stratosphérique d'astronomie infrarouge (*Sofia*), installé à bord d'un Boeing 747. L'avion évolue à plus de 12 000 mètres d'altitude pour réduire au maximum les perturbations liées à la



La nébuleuse NGC 7027 contient de l'hydrure d'hélium.

présence de vapeur d'eau dans l'atmosphère. Les chercheurs ont alors associé le télescope de trois mètres de diamètre de l'observatoire volant à un spectromètre à haute résolution pour capter spécifiquement la longueur d'onde correspondant à HeH⁺, et ont confirmé sa présence dans la nébuleuse NGC 7027. ■

LAMBERT BARAUT-GUINET

R. Güsten et al., *Nature*, vol. 568, pp. 357-359, 2019